ISSN 1017-0863

技術服務季刊

行政院農業委員會農業試驗所

130

水稻耐熱性檢定圃的設置與應用
青割玉米台農 8 號育種過程與特性簡介
農地雷射整平技術於畦溝灌溉應用與推展成效
因應氣候變遷發展之農業技術 - 植物種原超低溫冷凍保存技術簡介（下）
我國自動化作物外表型分析平台的新里程碑 - 農業試驗所國家植物表型體分析中心

第33卷第2期
2022年6月

Technical Service Quarterly Bulletin
Taiwan Agricultural Research Institute

行政院農業委員會農業試驗所技術服務季刊

Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
Technical Service Quarterly Bulletin. (Tech. Serv. Q. Bull. TARI.)

第33卷第2期
中華民國111年6月出版

封面說明：為因應氣候變遷的育種需求，本所承行政院氣候變遷中長程公共建設計畫支持，建置首座整合型植物表型體分析中心，並於111年3月22日吉時舉行興工動土典禮。

◎圖/文 生技組林大鈞

行政院農業委員會農業試驗所技術服務季刊
出 版 者/行政院農業委員會農業試驗所
創刊年月/民國79年3月
發 行 人：林學詩
總 編 輯：陳淑佩、呂椿棠
執行編輯：黃淑華
地　　址：台中市霧峰區萬豐里中正路189號
網　　址：https://www.tari.gov.tw
電　　話：(04)23302301~5
農民服務專線：04-23317456
本刊內容已全文上網，歡迎訂閱農業試驗所電子報，詳情請見本所網站-便民服務-訂閱電子報。

版權所有、轉載須經本所同意

展售書局：
■五南文化廣場　台中市中山路6號 (04) 22260330
■國家書店松江門市
台北市松江路209號1樓 (02) 25180207 (代表號)
■國家網路書店：https：//www.govbooks.com.tw
承 印 者：農世股份有限公司
台中市漢口路3段55巷21號 (04) 22932036
定　　價：NT 50 元

GPN：2007900008
ISSN：1017-0863　NT$50

目錄

農藝作物

■水稻耐熱性檢定圃的設置與應用
李長沛 林盟翰 陳繹年 吳東鴻 1

■青割玉米台農8號育種過程與特性簡介
謝光照 孫凭瑋 戴宏宇 6

農地灌溉

■農地雷射整平技術於畦溝灌溉應用與推展成效
江志峯 10

生物技術

■我國自動化作物外表型分析平台的新里程碑-農業試驗所國家植物表型體分析中心
林大鈞 李承彬 林思妤 游舜期 杜元凱 楊佐琦 15

作物種原

■因應氣候變遷發展之農業技術-植物種原超低溫冷凍保存技術簡介(下)
陸柏憲 賴永昌 20

農業氣象

■氣候變遷對農業生產的衝擊—解讀IPCC最新氣候評估報告(AR6)
姚銘輝 25

生物資訊

■利用PlantGSAD資料庫平台對農業基因體資料基因群富集分析之簡介
賴牧謙 吳東鴻 李長沛 30

新聞訊息

■國產芻料新生力軍-青割玉米專用品種「台農8號」報到!
謝光照 王毓華 36

水稻耐熱性檢定圃的設置與應用

農試所作物組 李長沛 林盟翰 吳東鴻
農試所植病組 陳繹年

一、前言

在全球暖化趨勢下，高溫已成為作物栽培上不可閃避的重要議題之一。根據聯合國「政府間氣候變化專門委員會」(IPCC，2021)的研究報告，顯示現今人類各項活動所誘發的暖化現象，以工業化前期水準作為基期下，已高出1.0±0.2℃，全球暖化正以每十年上升約0.2±0.1℃進行中，預測2030年到2052年之間將提升1.5℃。在區域尺度上，觀察台灣近年平均升溫狀況也有相同趨勢，以1981-2010年平均溫度(23.63℃)為基準，近10年溫度持續上升外，至2020年已高出平均值達1.08℃，相當於IPCC特別報告中所提出的全球每十年上升幅度0.2±0.1℃的5倍。整合台灣水稻栽培各生育期與各月份溫度變化，顯示近年來，不論第一或第二期作各地區栽培後期(生殖生長期)均遭遇1951年以來高溫逆境。為因應持續高溫所帶來的負面影響，模擬高溫環境系統性篩檢遺傳資源與調適措施，將有助於提升作物對環境逆境的適應性；有鑒於此，本文簡介農業試驗所(簡稱本所)水稻耐熱檢定圃之設置及實際運作情形。

二、高溫逆境對稻作產業的影響

高溫逆境在稻作生產上之影響包括產量損失和稻米品質劣化。菲律賓國際稻米研究所(International Rice Research Institute)曾分析為期25年的現地產量與氣象變化的關聯性，發現旱季時期的夜溫提高1℃時，該期水稻將面臨減產10%的風險 (Peng et al., 2004)。國內學者也指出氣候暖化的影響下，台灣北部地區將明顯減產，而中南部略微增產，但整體平均值仍然呈現減產趨勢，預估於2050年及2080年將分別減產4.7%及7% (姚和陳，2009)。在稻米品質上，第一期作水稻生育期溫度變化係由低溫轉至高溫，而生育後期的高溫逆境遂使白堊質粒及未熟率普遍高於第二期作所生產的稻穀 (Lur et al., 2009)。

作　　者：李長沛副研究員
連絡電話：04-23317177

生理研究顯示，開花後15天內的溫度對水稻產量與品質的影響最大。其臨界溫度在25-27℃，學者認為在30℃以內，開花後15天內溫度每增加1℃，產量減少2-6% (Wu et al., 2016)，該時期溫度超過臨界值時，完整米率減少、白堊比率增加，明顯影響稻米理化特性。

暖化情境也促使病、蟲害發生頻率增加或發生時序的改變。在全球暖化的情境下，害蟲族群及其代謝速率與前三大穀類作物(水稻、玉米、小麥)產量損失的相關性，預測模式顯示每升溫1℃產量將損失10-25%，尤其以穀類生產為主的溫帶地區更為明顯(Deutsch et al., 2018)。水稻褐飛蝨、白葉枯病原是國內僅在第二期稻作好發的病蟲害，但近年來已在第一期稻作屢見不鮮。國內學者模擬同時考量高溫及大氣高CO_2濃度的複合情境下，水稻抗蟲基因的抗性表現亦受影響；以褐飛蝨抗性基因為例，攜有BPH17抗性基因者較不易受環境影響，而BPH20則易隨環境變化而喪失抗性(Kuang et al., 2021)。顯示暖化的情境下，除解決植物本身的忍受性、適應性外，仍須重視作物與病蟲害發生的相關性。

三、耐熱檢定圃的設置

本所自2016年持續建構可以進行大量檢定之自動控溫耐熱檢定圃(圖一)，作為因應暖化情境所帶來衝擊的研究應用。耐熱檢定圃的構建，為雙拼圓頂力霸塑膠型、鋼骨支架的強固型溫室，具雙翼開頂溫室規劃設置，整體占地9.6 m×36 m雙連棟，為水泥地基，柱高4 m，圓頂2.6 m、四邊均有上、下捲揚，以透光率90% PO農用塑膠膜覆蓋，內設加熱器2組及內循環通風扇，自動控制器與加熱器、通風扇、捲揚進行連動；溫室內離地面1.2 m處均勻配置4組氣溫、溼度監測器，由4組氣溫數據之平均作為自動控制器啟動之依據，另設置4組CO_2濃度監測器，4組土壤三合一監測器，4組土壤水分及導電度計以監測田間環境參數。

圖一、耐熱檢定圃篩選情形及自動控制系統。

耐熱檢定圃可以種植面積為19 m×33 m，若以28 cm×16 cm的種植密度，每品系種植18株，單次可檢定約400品種(系)，足以進行種原評估、大量檢定分離後裔或進行逆境調適措施研究。

根據近年來耐熱檢定圃運作現況，發現檢定圃的夏季高溫可能高達44℃以上，已規劃調整側邊捲揚和開頂天窗，當內部溫度達設定溫度，則打開捲揚及天窗，但側邊下捲揚面積較大，且開啟高度與稻株株高接近，正好接近水稻抽穗的位置，可能造成檢定圃內兩側溫度較低，試驗材料可能面臨的高溫逆境不足的現象。因此目前降溫的設定，當溫度達設定溫度時僅開啟側邊上捲揚，以減少設施邊緣干擾。未來設計上可將兩側捲揚改為三段式，溫度超過設定溫度時僅開啟上、中部的捲揚，以增加降溫速度，也可避免溫度不均的干擾。

四、耐熱檢定圃的運作

耐熱檢定圃目前主要評估水稻生育後期的高溫耐受性。試驗材料同時種植於檢定圃與露天田區，在水稻開始抽穗時進行溫度處理，日間(08:00-15:00，儘可能涵蓋水稻開花的時間)溫度設定在39℃±2℃，夜間則設定在28℃±2℃，持續至成熟期。在加溫期間與田間環境溫度相比較(表一)，白天加溫時段，較田間溫度高出約9℃，夜間則高出田間約5℃，第一、二期作水稻生育後期的高溫處理均可超出水稻開花期的臨界溫度(35℃)，可評估高溫逆境下的稔實率變化，從而選育耐熱的優良品種(系)。而檢定圃內之日夜平均溫度均達30℃以上，超過一般認為對水稻米質負面影響的臨界溫度26℃(盧等，2006)，利於評估高溫逆境下對米質的影響。

耐熱檢定圃的檢定環境，有別於一般生長箱內僅能進行少量精確的耐熱性評估。較大面積的環境及各水稻品種(系)生育期的差異，可能面臨高溫的逆境程度有所不同，對檢定結果也可能有不等程度的影響。以台農77號為試驗材料(圖二)，比較種植於田間、一般溫室於抽穗前移入耐熱檢定圃，以及直接種植於耐熱檢定圃內的高溫逆境表現。結果顯示在高溫逆境下，稔實率均明顯降低，說明生育後期的高溫逆境處理並未受生長前期的栽培環境的影響，有利於評估抽穗期不同的各類品種(系)。

五、耐熱檢定圃的應用

耐熱檢定圃的設置，除進行耐熱性品(種)系檢定外，也可提供高溫逆境下

表一、田間環境溫度與耐熱檢定圃之溫度比較

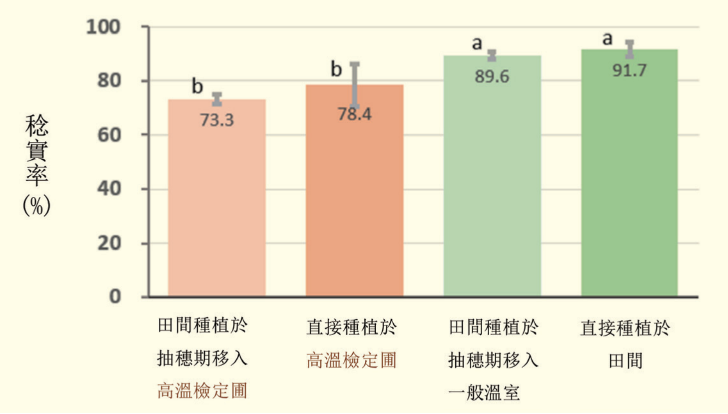
處理	日均溫(℃)	08:00~15:00 均溫(℃)	15:00~08:00 均溫(℃)
2020 第一期作	5月1日~6月20日		
田間環境	27.6	30.2	26.6
耐熱檢定圃	33.3	39.1	31.3
溫度差異	5.7	8.9	4.7
2020 第二期作	9月21日 ~ 11月30日		
田間環境	24.8	28.3	23.4
耐熱檢定圃	31.1	37.0	28.6
溫度差異	6.3	8.7	5.2

08:00~15:00；15:00~08:00溫度設定分別為39℃、28℃。

各類相關研究應用。為克服高溫對稻作產業的不良影響，就短期的目標而言，了解國內主要水稻推廣品種高溫韌性表現，可作為各地區推廣上的參考；也針對各區改良場參與區域試驗的新育成品系進行耐熱性評估，以提供新品系命名及適栽區推廣參考。同時於高溫檢定圃中，進行不同灌溉方法或營養調配等栽培管理試驗，建立高溫逆境調適技術，作為輔導及推廣的依據。

另外，也積極的引進及評估各類種原，做為強化固有品種耐熱性的基礎。其中耐高溫的印度品種Nagina 22 (N22)，在耐熱檢定圃內仍能維持高稔實率(表二)；埃及品種Giza178在耐熱檢定圃內，除保有高稔實率也有較好的米質外觀；而來自澳洲及非洲的野生稻種，具有耐熱、耐旱的特性，也是改進栽培稻應變氣候變遷的重要遺傳資源，均可提供改進現有品種高溫逆境忍受性的潛力。

在耐熱檢定圃中，進一步結合型態或生理指標的調查、病蟲害發生的評估，從各式種原中找出高溫下仍有高稔實率和較好外觀品質關聯性基因，或是不易受高溫影響的抗病蟲害基因，配合分子標誌輔助選拔，有助於改進推廣品種應變高溫逆境的精準育種目標。



圖二、不同處理方式下水稻台農77號稔實率表現(2020第一期作)。

表二、耐熱品種N22與國內推廣品種於一般田間(常溫)和耐熱檢定圃(高溫)之稔實率(%) (2020、2021年)

品種	第一期		第二期	
	田間環境	耐熱檢定圃	田間環境	耐熱檢定圃
N22	89.4±1.4 b	90.1±1.1 a	90.3±3.9 a	92.2±2.2 a
台稉9號	91.8±2.3 a	66.1±15.1 b	91.7±1.5 a	85.2±3.9 b
台南11號	92.4±1.4 a	75.4±13.3 ab	88.2±5.9 a	83.0±5.8 b

同欄英文字母相同者，表示LSD檢定無顯著差異。各數值均為兩年兩個同期作4重複之平均。

六、結語

在氣候變遷全球暖化的情境，作物栽培所面臨的衝擊，往往不再只是單一事件的課題，如高溫伴隨著乾旱，也相繼影響病蟲危害的時序變化及抗性基因的有效性，透過模擬的環境，將更適切且有效的進行評估。耐熱檢定圃的應用， 短期內可以了解國內主要水稻推廣品種對高溫的忍受性，並建立高溫調適技術。長期的目標，則結合生物技術、

型態生理特徵，將耐熱性基因導入國內推廣品種，並尋找高溫環境下仍持續具有抗病蟲害的有利基因，以改進現有品種對未來環境的忍受性。期待本設施的研究成果，可以提升國內稻作栽培時面臨高溫逆境衝擊時的韌性。也歡迎有興趣的研究團隊與專家可以善加應用本設施，來解決氣候變遷下高溫逆境對作物生產上亟需解決的各類課題。

七、參考文獻

盧虎生、劉韻華、中央氣象局第三組農業氣象科。2006。台灣優質水稻栽培之環境挑戰與因應措施。作物、環境與生物資訊 3:297-306。

姚銘輝、陳守泓。2009。氣候變遷下水稻生長及產量之衝擊評估。作物、環境與生物資訊6(3):141-156。

Deutsch, C. A., J. J. Tewksbury, M.e Tigchelaar, D. S. Battisti, S. C. Merrill, R. B. Huey, and R. L. Naylor. 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. Science 361: 916. DOI: 10.1126/science.aat3466.

IPCC, 2021. Technical Summary. In "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." [eds. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou] pp. 33 144, doi:10.1017/9781009157896.002.

Kuang, Y.H., Y.F. Fang, S.C. Lin, S. F. Tsai, Z. W. Yang, C. P. Li, S. H. Huang, S. L. Hechanova, K. K. Jena and W. P. Chuang. 2021. The impact of climate change on the resistance of rice near-isogenic lines with resistance genes against brown planthopper. Rice 14, 64 (2021). https://doi.org/10.1186/s12284-021-00508-6.

Lur, H. S., C. L. Hsu, C. W. Wu, C. Y. Lee, C.L. Lao, Y. C. Wu, S. J. Chang, C.Y. Wang and M. Kondo. 2009. Changes in temperature, cultivation timing and grain quality of rice in Taiwan in recent years. Crop, Environment & Bioinformatics. 6:175-186.

Peng S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS). 101: 9971-9975. https://doi.org/ 10.1073/pnas.0403720101

Wu, Y. C., S. J. Chang, and H. S. Lur. 2016. Effects of field high temperature on grain yield and quality of a subtropical type japonica rice–Pon-Lai rice. Plant Prod. Sci. 19:1, 145–153. Retrieved from https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128091.

青割玉米台農8號
育種過程與特性簡介

農試所作物組 謝光照 孫凭瑋 戴宏宇

一、前言

以青割玉米作成的青貯料或青飼料，是嗜口性佳且營養價值頗高的芻料，素有「芻料之王」之稱，其用來飼養產乳期的乳牛，可提高泌乳量及乳脂率。青割玉米育種目標常以抗銹病、耐密植、抗倒伏、糊熟期整株鮮草、乾物質生產量、乾物率及營養消化率高為主。台灣目前部分農戶以台農1號，台南24號及明豐3號等硬質品種作為生產青割玉米之用。有鑑於國內青割玉米迫切需求的重要性，本所雜糧與特作研究室於2008年重新啟動青割玉米品種選育工作，經過種原收集、自交系培育、測交種生產及組合力評估試驗、新品系產量比較試驗及大面積試作，最後選得青割玉米台農育2014-08號，已於2021年8月4日經農業試驗所智審會審查小組通過命名為青割玉米台農8號(TNG 8)。2022年1月19日於嘉義六腳鄉舉行新品種示範觀摩會，農民反應良好，同時有種苗業者有意承接授權，本所將進行授權業者進行F_1種子生產，推廣給青割玉米栽培農民種植，可增加青割玉米種植面積與冬季青飼料之多元供應。

二、育種過程

(一) 自交系培育：2008年春作，將蒐集的品種「菲律賓No.1」、「菲律賓703」、「泰國688」、「泰國Pacific No.11」、「泰國963」與「廣西1號」等中早熟、高產且抗銹病之外來品種，經人工自交授粉至S_5世代選得之自交系計有431個。2010年秋裡作繁殖431個 S_5世代自交系之種子。

(二) 測交種生產：2012年秋作，431個自交系與優良自交系ICAL210、Hi31、1M10、888M分四次進行雜交種生產，共得1,626個F_1雜交種。

(三) 青割鮮草產量之組合力評估試驗：2013年秋作，試驗結果顯示所分離的自交系與優良自交系1M10、888M的雜交種中，分別有27個及29個雜交種，糊熟期整株青割鮮重產量表現較高。

作　　者：謝光照研究員
連絡電話：04-23317115

(四) 新品系產量比較試驗：

(1) 2014秋作，將組合力試驗選留的雜交種進行鮮草產量新品系產量試驗，顯示TNG8其整株鮮重為58.7 ton/ha，明顯較對照種明豐3號(MF3)46.2 ton/ha高 產，增加27.0%。

(2) 2015秋作，新品系產量評比試驗，顯示TNG8其整株鮮重為50.5 ton/ha，明顯較對照種「MF3」的42.6 ton/ha 高產，增加18.5%。

(3) 2016年秋作，新品系產量評比試驗，顯示TNG8其整株鮮重為49.7 ton/ha，明顯較對照種「MF3」的42.1 ton/ha 高產，較「MF3」增加28.0%。

(4) 2017年秋作，新品系產量評比試驗，顯示TNG8其青割整株鮮草重表現為50.7 ton/ha，較對照種「MF3」的39.1 ton/ha 高產，約增產29.6%。

在秋作環境下，經過4次的青割鮮草產量新品系比較試驗，結果顯示新品種TNG 8表現較「MF3」高產，四年平均較對照種MF3號增加23.3% (表一)。

三、品種特性

台農8號，在中部地區，秋作由播種至開花吐絲期平均約58-60天(D)，播種至採收期約90-100天(D)，株高平均在235 cm，穗位高平均在125 cm，性狀表現隨播種期之早晚及氣溫高低而有差異。糊熟期採收平均整株鮮重約50 ton/ha，整株乾物率34%，總營養消化率在66.5%。穗位葉以上之葉呈直立，葉片數約17-18片，至青割採收期時，底層葉片仍保持綠色，在田間自然環境下無銹病病徵發生，中熟性品種，適合秋作與裡作種植(圖一)。

植株幼苗莖基部為紅色、頂穗節位在6-7節、雄穗與花絲為紅色、雄穗分支數多，約有16、花粉量多、多穗型(1-2個)、穗長約15 cm、穗徑4.4 cm、籽粒行數以12行居多、乾燥籽粒為半馬齒型、穗軸白色，生理成熟期之乾燥籽粒產量約7,000 kg/ha。

四、栽培應注意事項

(一) 種植密度以75×18-25 cm為宜，不宜過於密植，植株莖稈會變細較容易倒伏。

(二) 每公頃三要素肥料量為N：P_2O_5：K_2O=180：90：60 kg/ha，基肥以台肥39 號複合肥料（N：P_2O_5：K_2O=12：18：12）每公頃施500 kg，即基肥每公頃施氮素60 kg，磷肥90kg及鉀肥60 kg。其餘之140 kg/ha氮素以硫酸銨（N=21%）於玉米齊膝期（約0.50–0.60 m）當追肥施用。

五、親本種子繁殖量與雜交種採種量

(一) 親本種子繁殖生產量：2020年秋作(11月3日播種)，父本自交系其種子的繁殖生產量約為3,800 Kg/ha。2020年裡作(12月1日播種)，母本自交系種子繁殖生產量約為4,000 Kg/ha。

(二) 雜交種採種量：2019年秋作或裡作採種時，因父本較母本晚抽穗及開花散粉，當父母本同時間播種時，

父本須於培土前及節間伸長期各追施1次尿素，促進父本提早抽雄穗及開花散粉。或者採取父本提前7天播種，或母本晚7天播種，那麼父母本植株的花期配合會較佳，預估F_1雜交種採種量為3,500 Kg/ha。

表一、青割玉米台農8號 (TNG 8)與明豐3號(MF3)產量比較試驗之特性表

年 度 (播種日期)	品 種	播種至開花期(D)	播種至吐絲期(D)	株高 (cm)	穗位高 (cm)	青割鮮重 (ton/ha)	乾物率 (%)	總營養消化率(%)
2014(10/8)	TNG 8	68	70	250	140	58.7	--	--
	MF 3	68	70	200	117	46.2	--	--
2015(9/15)	TNG 8	56	56	245	124	50.5	--	--
	MF 3	54	54	226	116	42.6	--	--
2016(10/12)	TNG 8	58	60	225	120	49.7	32.5	65.3.
	MF 3	62	64	205	90	42.1	30.2	64.0
2017(9/15)	TNG 8	57	59	233	109	50.7	36.5	68.2
	MF 3	57	60	209	97	39.1	36.6	63.8

圖一、台農8號吐絲後30天(糊熟期)採收時植株及果穗照片。
***2021年8月31日播種 ;2021年11月23日收割時照片。**

六、結語

新品種台農8號於2021年秋裡作，在台南市鹽水區、嘉義縣六腳鄉分別進行大面積試作。其中嘉義縣六腳鄉大面積試驗田，於2021年11月4日播種，生長至糊熟期約75天，植株底層葉片依然維持翠綠色。2022年1月19日舉行觀摩會，約80位農友參加，實際田間參觀反應良好，農民期待新品種能儘快提供種子推廣種植(圖二)。

目前新品種台農8號授權申請案已於本所研發成果管理小組通過，並經農委會智審會通過後，將進行授權給種苗業者生產雜交種及販售。

七、參考文獻

Hunter, R. B. 1978. Selection and evaluation procedures for whole-plant silage. Can. J. Plant Sci. 58:661-678.

Keiser, H. V. 1981. When should silage maize be harvested ? Herb. Abstr. 51# 1698.

Phipps, R. H., R. F. Weller, and R. J. Fulford. 1979. The development of plant components and their effect on the composition of fresh and ensiled forage maize. 3. The effect of grain content on milk production. J. Agric. Sci. Camb. 92:493-498.

A.台農8號生長至糊熟期植株
B.台農8號生長至糊熟期果穗外觀
C.觀摩會現場解說品種特性
D.觀摩會現場解說品種特性

圖二、新品種台農8號在嘉義縣六腳鄉大面積試作之田間觀摩會。

農地雷射整平技術
於畦溝灌溉應用與推展成效

農試所農化組 江志峯

一、前言

極端氣候引發農業用水供需失衡，極需提升作物灌溉效率。傳統畦溝灌溉是利用畦溝引水進入田間並下滲入作物根區土壤，達到灌溉作物的目的。傳統灌溉均假定田面是平順光滑的，但實際田面是凹凸不平的，較差的田間微地形條件會嚴重干擾水流向下游的正常推進，導致水流無法順流至畦尾或水流推進鋒面的非均勻分布，造成灌溉效率下降。如果稻田水平畦面不平整，在不減少土壤對於水稻之水分提供量前提下，必須投入更多之灌溉水使土面較高處亦能有足夠之浸水高度，因此，提高田面平整度而節省之水量相當可觀。

目前大規模的水田整平作業均以機械化設備為主，但受一般機械平整設備自身缺陷和人工操作平整精度較低的限制，土地平整精度在達到一定程度後無法繼續提高。近40年來，新的平整機械設備不斷研發和改良，以期提高土地平整作業的效率和精度，其中具有重大突破的進展之一，即是雷射光控制技術在土地整平上的應用。農地雷射整平技術是利用雷射光進行量測，精準度遠高於目前慣行以人工和機械操作。農業試驗所農業化學組過去20年致力於發展雷射整平水田節水技術，在評估水稻直播節水之效益已屬可行，可大幅度提高田間土地的平整精度，成功解決目前一般水田高低差大多大於12公分的問題。大幅降低水田的淹水深度，有效地節省灌溉用水，每期稻作平均可以減少20-25%的用水量。而旱田慣行整平後的高低差一般比水田更大，經導入雷射整平技術後，畦溝灌溉效率也可大幅提升。本文簡介雷射整平的原理與步驟及實際應用等，以供農友參考。

作　　者：江志峯助理研究員
連絡電話：04-23317404

二、雷射整平的原理與步驟

放置在田邊的雷射光發射器發射光束，該光束被安裝在曳引機鏟斗上方的接收器攔截與接收，再將光束信號傳輸到安裝在曳引機上的控制器進行運算，藉控制鏟斗的提升或降低，以進行田面土壤挖高填低的反覆操作，使整個田地達到平整。

(一)整平前高程量測：整平前使用雷射光儀按方形網格完成擬欲整平地塊的地面高程量測，得到田塊內各測點處的地面相對高程。

(二)整平高程的設計：根據地面相對高程的測量結果進行整平設計，確定整平的設計高程，其原則是通過選擇適當的整平設計高程，並使整平作業中的挖方量與填方量基本相等。

(三)雷射光發射與接收：在田塊適當位置處安裝雷射光發射器，確保雷射光束平面(參照面)高於田內任何障礙物，以便安裝在整平設備桅桿上的雷射光感應裝置能接收到來自發射器的光束(圖一)。

(四)鏟運機具的設定：根據田塊內整平設計高程，確定鏟運機具刀口的起始位置點。即刀口落地，上下調節安裝在鏟運設備桅桿的雷射光接收器的安裝高度，當接收器中心控制點的位置與雷射光控制參照面同位時，即可固定接收器的位置。

(五)鏟運整平機具的運作：從整平起始位置點開始，由曳引機牽引的鏟運設備在田塊內反覆作業，挖高填低，搬運土方，自動完成土地的精確整平工作。

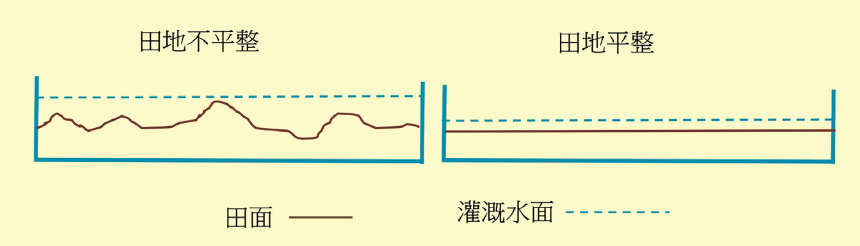
(六)平整度的檢測：整平作業完畢後，按整平前相同的網格形式進行地面高程點的複測，以評估整平的精度及效果。

三、土地平整的優點

(一)減少灌溉水量：以水稻栽培為例，水田未整平前，土面最高和最低部分之間差異大，達到曳引機可濕耕犁的灌水量較整平後為多；且因不平整稻田，水稻生育不一致，部分過綠稻葉往往造成病蟲害感染擴散點，也由於成熟不一致，容易造成青米粒比率高，品質下降，不利於水稻的生產(圖二)，同時浪費農民等候田區灌滿時間，如果抽地下水灌溉，更是浪費很多的電費(圖三)。

圖一、田間組合雷射整平作業。

圖二、、稻田平整度高有利於水稻生育一致，稻穀青米粒比率低(上)，不平整稻田，抽穗不整齊，容易造成稻穀品質下降，收購單價低(下)。



圖三、田面平整度對灌溉水量影響。

(二)更好的雜草控制：在水田，土地平整可改善雜草叢生的現象，並增加稻穀產量，土地平整提高水的覆蓋率，可減少40%雜草的滋生。雜草減少可使田間除草時間縮短。從21人工日減少到5人工日/公頃，每公頃可減少16人工日，而除草所需勞動力減少75%以上。

(三)增大耕地面積：由於田地高低落差太大，往往將田區分割成小區以利灌溉，良好的土地平整可減少因需提高灌溉效率而設置田中小埂的面積，而增加可耕的農田面積，並且提高作業效率。若將農田坵塊面積從0.1公頃擴增到0.5公頃，可耕面積約

增加5%至7%。使農民可以更容易規劃作業區域，並可將作業時間縮短10%至15%。

(四)更快的播種/更少的工作量：田區平整降低作物移栽和直播所需的時間，土地平整為直播提供更大的機會，從移植到直播的勞動力約可減少每公頃30人日。

(五)收益率較高：有效的土地平整減少讓作物移栽後存活的管理工作，使作物在農田中生長較一致，縮短採收期時間，亦利於機械採收，並提高產量和質量，增加農民收益。

四、雷射整平推展案例

(一)地點：台南北門三寮灣　作物：紅蔥

(二)平整田面的灌溉對生長影響：田地不平整，容易造成紅蔥鱗莖種植初期因灌溉不均勻，有些紅蔥因地勢低淹水或地勢高缺水而影響其發芽整齊度，整平後紅蔥田畦溝灌溉走水平順，未整平紅蔥田，農民需額外花時間、人力，用隔板控制畦溝水流量(圖四)，整平後紅蔥田由於灌溉一致，生長整齊，可提高作物生育的整齊度及收穫面積和產量，未整平紅蔥田，作物成熟期不一致，需分次採收，收益降低(圖五)。

圖四、精進田面平整度，可使灌溉水流均勻(左圖)，未整平紅蔥田畦溝灌溉不均勻，農民需用隔板控制水流量(右圖)。

圖五、整平後紅蔥田成長發育整齊劃一(左圖)，未整平紅蔥生長參差不齊(右圖)。

圖六、示範區整平後紅蔥田增加產量增加50~87.5% (左圖)，對照區未整平紅蔥產量不平均品質低(右圖)。

(三)灌溉效率提高增加產量與品質：於台南市學甲區舉辦「農田雷射整平技術在旱田(紅蔥)水分管理示範」，示範利用雷射整平技術提高紅蔥發芽率、灌溉效率。經110年9月栽培前的整平作業，於111年1月上旬收穫，結果雷射整平示範區與不平整對照區紅蔥產量相較，平均產量每分地由960公斤增加至1440~1800公斤，提高約50~87.5%；由於示範區產品品質較對照區好，大盤商主動加價2元(+16%)/台斤收購，農友在示範區較對照區增加1.74至2.17倍收益(圖六)。

五、結語

依據推展案例顯示，農田雷射整平可以節省作物灌溉水量與效率，除水稻田外，根莖類作物效果尤為明顯，因氣候變遷，農業灌溉用水供應不穩定，如能將此技術爭取納入政策支持項目，推廣的力道會更強，對於糧食生產的提升，頗有助益。

雷射整平機讓示範區的農友感受雷射整平作業極佳的成效，未來本所將加速完善GNSS-RTK網絡系統服務，可應用於自動量測農田高程，提供國內農機使用，提升整平、播種、噴藥、施肥、監測、收穫等農事操作效率，便利農友降低管理成本，增加收益。

六、參考文獻

FAO, 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems.

GIZ/Weber, 2005.Guidebook for Extension Training in Agricultural Water Management, Module No.4. Cairo.

GIZ, 2010. Training Manual for Agricultural Water Management Specialists: Executive Summary, Cairo. http://www.knowledgebank.irri.org/factsheetsPDFs/Land_Preparation/landLeveling.pdf

我國自動化作物外表型分析平台的新里程碑
—農業試驗所國家植物表型體分析中心

農試所生技組 林大鈞 李承彬 林思妤 游舜期 杜元凱 楊佐琦

一、前言

預估至2100年間，全球人口可能增加至超過130億人。因此，「如何餵飽全世界」，已是目前農業相關科學領域所面臨的嚴峻挑戰。同時，因全球氣候變遷的影響，多數作物的生產，除了面臨著水及營養源的匱乏外，熱帶及亞熱帶區域的耕地面積，預估也將會減少至目前可耕地面積的21%。尤其是日益嚴重乾旱及耕地鹽化問題，可能導致可耕地區域損失高達50%的面積。此外，在現行淨零排放的全球新商業模式趨勢下，如何育成高氮素利用率及抗病、蟲害品種，以降低肥料、農藥及能源使用，進而降低溫室氣體排放，已是重要的育種課題之一。因此，如何加速新型氣候適應及淨零排放需要的作物品種育種，進而滿足糧食、生質能源、纖維或其它工業的需求，已是這一波新農業產業鏈綠色革命的重要議題。

目前作物種原篩選或是育種過程中，所慣用的作物外表型分析方法，因需勞力密集調查、不客觀且常為破壞性之取樣，導致無法取得精準的分析結果。因此，如何改善取得精準、全面性且具再現性之作物外表型數據，已成為作物種原篩選、育種，甚至是植物學、功能性基因體等研究領域的主要課題。爰此，在作物外表型分析研究的發展過程，現已從早期只針對作物幾個重要目標性狀的外表型分析，發展至可系統性針對細胞、組織、器官，甚至到全株植物的外觀、生理、產量或品質等全面性的特性，取得外表型分析結果，即所謂的表型體學 (phenomics) (Soule, 1967)。然而，在特定農業系統，作物表型體是受基因體、環境及栽培管理等複雜交互作用下所的表現結果 (Houle et al., 2010)，更是作物種原篩選或育種成敗的決定因素。尤其，作物的重要性狀，如抗蟲、抗病、產量或品質等，多由數量遺傳所調控，其參與之相關基因群的

作　　者：林大鈞聘用副研究員
連絡電話：04-23317353

表現，常受各種環境因子所影響。近年來，由於次世代定序技術的發展，大幅加速功能性基因體研究的進展，促使許多重要作物性狀的基因被探勘發現。然而，現有傳統外表型分析方法仍具有下列缺點：(1) 完全依賴人力、耗時費力；(2) 調查數據不客觀，易受人為及環境影響；(3) 環境因子難以控制；(4) 多仰賴長期的經驗，不易標準化，導致重要的育種計畫容易遭遇斷層而停頓；(5) 為基因定位與育種選拔的瓶頸 (圖一)。儘管學界已投入了大量的研究工作，但在縮小基因體資訊與複雜性狀外表型間的知識缺口上，作物外表型分析的精準性，仍是關鍵的挑戰。舉例而言，學界在作物耐旱育種的努力，儘管已在全球進行了20年的研究，但上述的知識差距，仍尚未得到有效的解決。

二、國家植物表型體分析中心建置緣由及規劃

為了有效取得高通量、精準的植物外表型分析結果，許多國際植物學家開始廣泛應用自動化非侵入式、破壞性的外表型分析方法。近來國際研究社群已發展出各種表型體分析平台，其中以瑞典 (Crop Design, LemnaTech)、澳洲 (Australian Plant Phenomics Facility, APPF-CSIRO, Australian National University 及University of Adelaide)、英國(UK Plant Phenomics)、法國(PHENOARCH, INRA)，及跨國農業生技公司，如Syngenta公司，所建置的平台最為進步。這些自動化非侵入式、破壞性的植物表型體分析平台，具備以下特性：(1) 完全環境控制，結合多種感測器，非破壞性定株調查收集資料；(2) 可在全生育期，

圖一、現行作物育種及基因體學相關研究所遭遇之重要瓶頸。

連續且即時收集數據；(3) 可收集多維度的性狀數據，涵蓋生理至外觀；(4) 收集數據客觀、完整且再現性高。此外，國際目前所建立的自動化植物表型體分析設施，依規模可概括區分為：實驗室、溫室及田間三個層級，而建置內容則包含：(1)智慧環境控制或紀錄的場域：意即可控制環境的生長箱或溫室，抑或在具備記錄環境條件下的空間、溫室或是田間；(2)自動化載具：現有的系統包含輸送帶、天車、自走式機器人(robotic vector)、無人機 (UAV) 或衛星等載具；(3) 多維度感測器系統：現行最常被應用的感測器有RGB影像、多光譜或高光譜、熱影像、螢光、雷射及斷層掃瞄等影像技術，皆具有高解析影像偵測及分析的潛力，進而得以建立多維度非侵入性外表型分析方法(Li et al., 2014)；(4) 植物影像分析軟體：影像分析完整流程包含偵測器、前處理、分割過程、特徵萃取及機器學習演算法等步驟(圖二)。

農業試驗所在行政院的支持下，為因應氣候變遷的育種需求，於110-113年建置首座整合型的植物表型體分析中心，將包含智慧環控溫室及田間等級的表型體影像掃描設施，涵蓋目前最先進的影像分析軟硬體，供農業研究學群、農業生技或種苗產業業者可進行精準表型體研究的典範場域。此中心也將進一步結合次世代基因型技術，進一步打造智慧快速精準耐候栽培及育種平台。

此中心預計建置一座智慧、節能、穩定的環控溫室，內含自動化輸送帶式 (conveyor vector) 表型體分析系統，可將

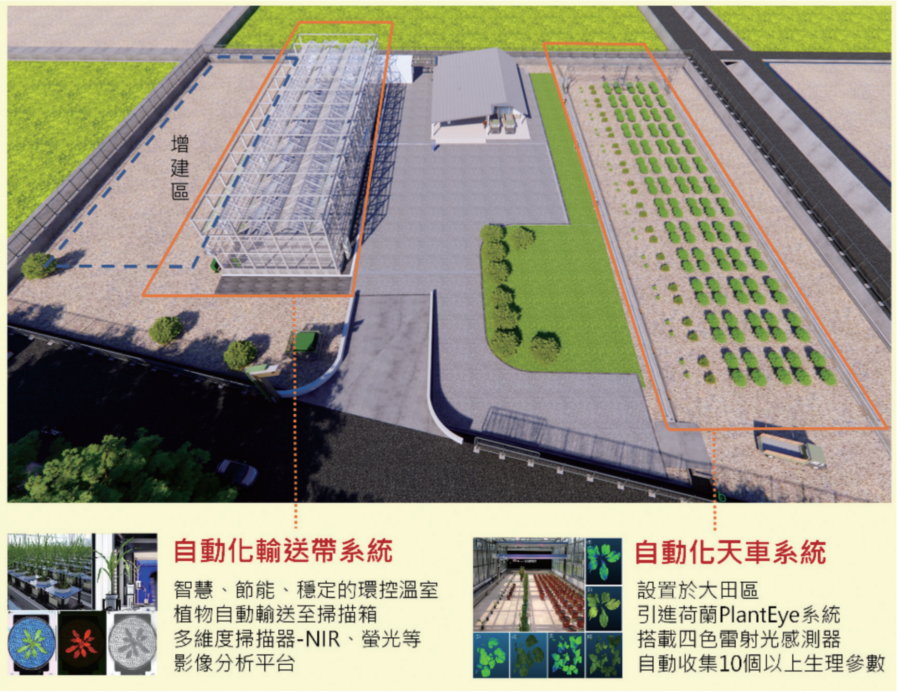
圖二、自動化植物表型體分析平台。

植物自動輸送至光學、雷射等影像分析室，進行生物量等高通量的作物表型體分析研究，同時具備自動化澆水滴灌系統，可標準化作物的栽培管理。後續規劃再增建近遠紅外光、螢光及高光譜偵測器，以應用於植物生理表型體研究。另一方面，同時於前述溫室的鄰近田區，引進自動化天車式 (gantry vector) 表型體分析系統，搭載四色雷射光感測器 (PlantEye) 系統，可自動收集田間作物10種以上的生理參數。另於相關田區設置微型氣象站，可自動記錄作物栽培期間的氣象資料，供後續相關表型體分析研究的配合應用 (圖三)。

該中心未來希望能夠提供大型先進的表型體設施場域，供進行：(1) 植物表型體分析與技術平台的開發；(2) 植物結構與功能研究；(3) 作物模式 (crop model) 的研究；(4) 植物、病原菌、益生菌或害蟲間交互作用的探討；(5) 植物逆境生理反應及其可能分子機制的分析探討；(6) 種原篩選及品種選育；(7) 建立快速精準栽培及育種平台；(8) 開發作物的調適栽培技術。

三、自動化植物表型分析平台的發展及精準育種的應用

自動化植物表型體分析平台的成功建立，將可提供植物學家或育種家得以更詳細地了解基因體、環境及栽培管理之間的相互作用外，這種跨學科的表型體分析平台，更可開闢育種者全新的視角，透過永續農業「設計育種」(breeding by design) 策略，以更有效率、精準的篩選過程，育成更適應未來氣候變遷、特定土壤情況，或具備更佳雜草、病害、昆蟲的抗性，並能夠被改進水份、營養或太陽能利用的能力。此外，這些平台亦可應用在精準農業 (precision agriculture)，並促使植物



圖三、國家植物表型體分析中心表型體分析設施之規畫。

學家、育種者與農民間建立更密切的結合與互動，進而發展新品種的優化利用。這些分析平台設施與表型體分析技術的發展，確可促進農業的第二次綠色革命，以迎接21世紀的農業挑戰，進而滿足全球未來的糧食需求 。

如同前述，各國農業研究單位乃至於大型國際種子公司，現已紛紛投入分析表型體之各種軟硬體設施的建置。雖然，國內已有投入許多生理性狀偵測器的開發廠商，亦有影像擷取、儲存及分析系統的研究者與開發商。但整體而言，仍缺乏整合且大型的分析系統平台。究其原因，農業作物表型體分析平台所需投入的資源極多、規模龐大，有別於一般學術性研究。在臺灣要發展這種投入資金龐大、高階人才需求眾多的新興科技，只能以國家級計畫方式，整合不同的領域團隊，方有可能達成。

四、結論

農業試驗所於行政院氣候變遷中長程公共建設計畫，已著手建構國家植物表型體分析中心。未來將串聯國內重要表型體研究團隊，如中央研究院、台灣大學、農業科學研究院、中興大學、世界蔬菜中心等，形成重要研究策略聯盟，於各單位場域建置各自特色的表型體分析核心設施，進而得以彼此共享表型體分析技術開發經驗、設施，後續可共同建立擴大、穩定及可信的表型體分析平台。最終，希望能與國際表型體研究中心形成跨國表型體研究策略聯盟，得以共享重要作物於不同區域的表型體資料庫。同時，冀能進一步整合國內學研單位已建立的重要作物之基因體、轉錄體、蛋白質體、代謝體或表觀遺傳學等資料庫，快速探勘氣候變遷、淨零等相關的性狀參與基因，進而建立作物設計基礎之快速精準育種平台，加速國內種苗產業於耐候、淨零等相關議題的育種速度及廣度，進而強化未來產業在因應氣候變遷的調適能力。

五、參考文獻

S., Huang, Y.S., Vilhjalmsson, B.J., Willems, G., Horton, M., Li, Y., Meng, D., Platt, A., Tarone, A.M., Hu, T.T., et al. (2010). Genomewide association study of 107 phenotypes in Arabidopsis thaliana inbred lines. Nature 465, 627-631.

Houle, D., Govindaraju, D.R., and Omholt, S. (2010). Phenomics: the next challenge. Nature reviews. Genetics 11, 855-866. 10.1038/nrg2897.

Soule, M. (1967). Phenetics of Natural Populations I. Phenetic Relationships of Insular Populations of the Side-Blotched Lizard. Evolution; international journal of organic evolution 21, 584-591. 10.1111/j.1558-5646.1967.tb03413.x.

Tuberosa, R., Turner, N.C., and Cakir, M. (2014). Two decades of InterDrought conferences: are we bridging the genotype-to-phenotype gap? Journal of Experimental Botany 65, 6137-6139.

因應氣候變遷發展之農業技術－植物種原超低溫冷凍保存技術簡介(下)

農試所嘉義分所 陸柏憲 賴永昌

(接續上篇)

四、超低溫冷凍保存方法與研發歷程

植物超低溫冷凍保存的研究發展，最早可追溯至Sakai(1960)的研究，其利用程序冷凍器(programmable freezer)控制降溫速率，將耐寒木本植物枝條預冷凍至-30° C，再浸入液態氮中，並於0° C下緩慢解凍，結果成功保持枝條活性。於接下來的30年間，傳統超低溫冷凍保存技術如Slow freezing、Two–step freezing的研發進展，可成功應用於癒傷組織、懸浮細胞及耐寒物種的保存。植物低溫生物學的研究於1990年代發展迅速，推動以材料脫水(dehydrated)、玻璃質化(vitrified)為基礎的超低溫冷凍保存技術興起，如玻璃質化法(vitrification)、包埋脫水法(encapsulation–dehydration)及藻膠包埋玻璃質化法(encapsulation–vitrification)等。其優點在於材料經冷凍保護處理後可直接浸入液態氮中，無需控制降溫速率，適用於懸浮細胞、莖頂組織等材料，三種常見方法簡介如下：

(一)玻璃質化法：材料首先加入高濃度冷凍保護劑，使細胞水分於低溫下固化成玻璃態(glass state)，避免冰晶產生。冷凍保護劑以高滲透性的PVS2(plant vitrification solution 2)使用最為廣泛。由於冷凍保護劑的滲透濃度高，長時間處理將毒害細胞，因此調控處理濃度及時間為提高材料存活率之關鍵。

(二)包埋脫水法：材料先以藻膠(海藻酸鈉, sodium alginate)包覆，並以蔗糖填充(loading)處理，置於無菌操作台脫水風乾，再以液態氮凍存。此法優點為僅用蔗糖做冷凍保護劑，不經PVS2處理，可避免玻璃化液對材料造成傷害，然而處理步驟繁瑣、風乾時間較長為其缺點。

(三)藻膠包埋玻璃質化法：結合上述兩法而衍生，材料以藻膠包埋後加入PVS2，再置入液態氮凍存。此法較包埋脫水法有較高存活率，且可節省風乾脫水之時間，但處理步驟較為繁複；而因材料不直接觸及抗凍劑，可減輕材料所受傷害。嘉義分所亦利用此法成功進行馬鈴薯超低溫冷凍保存(圖四)，試驗結果顯示凍存後存活率可達

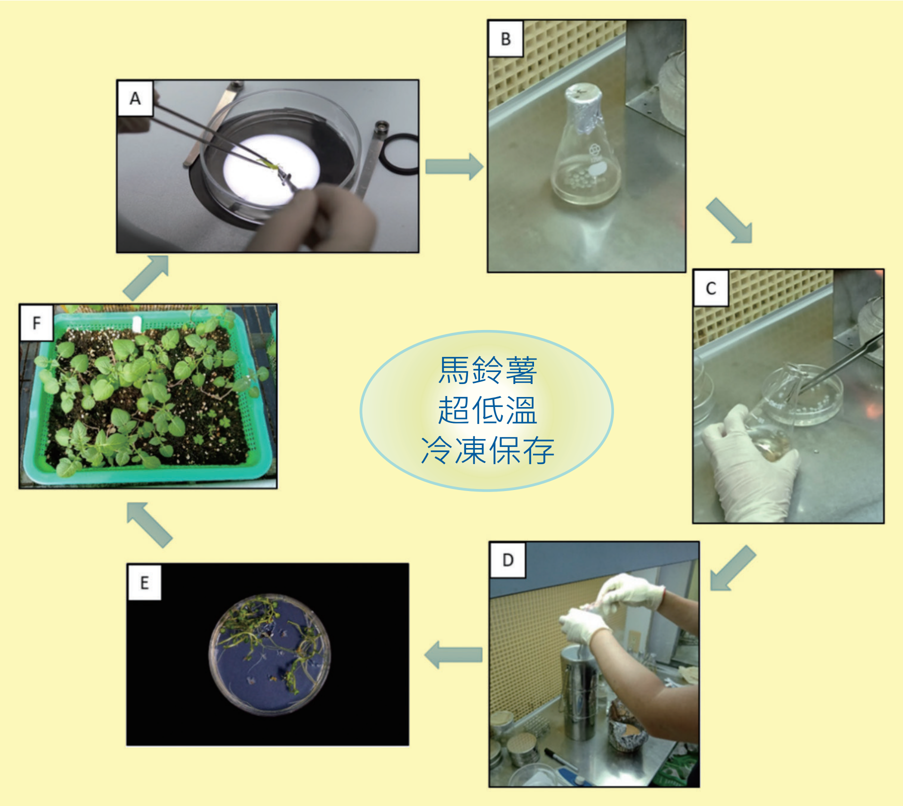
作　　者：陸柏憲助理研究員
連絡電話：05-2753182

70%以上，且存活培植體可再生成完整植株。

Panis等學者(2005)發表液滴玻璃質化法(droplet–vitrification)，於超低溫冷凍保存的研究歷程中立下新的里程碑。材料處理同於前述玻璃質化法，但操作過程中材料置於鋁箔條(aluminum foil strips, 5 × 20 mm)(圖五A)上，且僅使用一滴冷凍保護劑(約15 μl)，再將鋁箔條放入液態氮中保存。此法由於冷凍保護劑的體積小，且直接浸入液態氮中，材料於鋁箔條上達極高之冷凍速率，可顯著提高材料凍存後之存活率，目前各種原保存機構多採用此法進行種原長期保存。

玻璃質化法操作中材料需不停反覆移動，易造成材損傷和遺失，Yamamoto等學者(2011)設計帶有凹槽的冷凍鋁片(aluminum cryo–plates, 7×37×0.5 mm)以固定材料(圖五B)，衍生以冷凍鋁片為基礎的凍存技術，分別為V cryo–plates法及D cryo–plates法。兩法操作流程相近，材料置於鋁片上凹槽再以藻膠包覆材料。於脫水階段，V cryo–plates法利用PVS2；D cryo–plates法利用風乾方式，最後保存於液態氮中。此技術優點在於材料固定於冷凍鋁片上，減少材料受傷或損失的比率，且降溫和回溫速率極高，可增加材料凍存後存活率。

另外，由Funnekotter等學者(2017)發表以不鏽鋼網條(stainless steel mesh strip) (圖五C)為基礎的cryo–mesh法，為近年超低溫冷凍保存研究取得新進展。材料固定於不鏽鋼網條(25 × 7 mm, 孔距0.4 mm, 線徑0.224 mm)上進行操作。

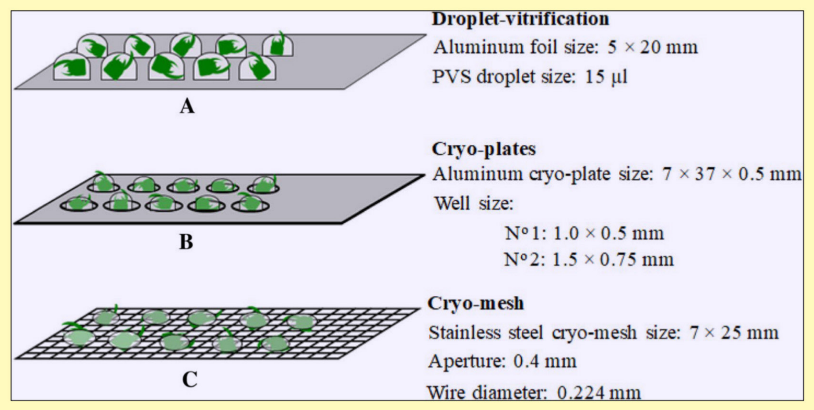


圖四、應用藻膠包埋玻璃質化法進行馬鈴薯超低溫冷凍保存。A:建立馬鈴薯離體材料。B:進行藻膠包埋。C:進行抗凍保護處理。D:超低溫冷凍保存。E:材料進行回復培養。F:成功再生成完整植株。

學者成功利用cryo–mesh法進行袋鼠爪草(*Anigozanthos viridis*)的超低溫冷凍保存，為未來作物種原長期保存的利用提供新方向。

五、全球種原保存機構應用情形簡介

全球各大洲皆設有種原保存機構，除進行原地及異地保存外，尚建立體外保存基因庫(*in vitro* gene bank)做為安全備份，避免不利因子影響，維持遺傳資源穩定性。然而，實際應用超低溫冷凍技術進行長期保存的機構不多，僅少數國家擁有超低溫基因庫(cryogene bank)。根據Acker等學者(2017)報告，全球15個種原保存機構中，田間保存方式占比最高(66%)，離體保存次之(46%)，而超低溫冷凍保存僅占16%。就作物別而言，應用超低溫冷凍保存佔比最高之前三項作物分別為馬鈴薯(38%)、樹薯(22%)及桑樹(12%)，可見國際間對於超低溫冷凍保存之應用仍有大幅發展空間。以下簡介全球各機構種原收集之作物類別及超低溫基因庫應用情形(表二)：



圖五、不同種類的冷凍鋁片。A：鋁箔條。B：冷凍鋁片。C：不鏽鋼網條。圖片來源：Wang *et al.* (2020)。

(一) 國際馬鈴薯中心(International Potato Center, CIP)，主要負責收集保存甘藷、馬鈴薯及安地斯根莖類(Andean roots and tubers)等種原。CIP保存超過11,000份種原收集系，其中約4,500份以離體方式進行保存。自2013年起，CIP開始應用液滴玻璃質化法進行超低溫冷凍保存，且預計逐年增加400份馬鈴薯種原，CIP的超低溫基因庫迄今已保存4,068份馬鈴薯與324份甘藷種原。

(二) 國際熱帶農業研究所(International Institute for Tropical Agriculture, IITA)，收集保存非洲主要糧食作物種原，包含豇豆、樹薯、香蕉、山藥、大豆、玉米及班巴拉花生等，總計超過35,000份種原收集系。自2017年開始，IITA已應用液滴玻璃質化法進行樹薯種原保存。IITA的超低溫基因庫預計於2022年保存1000份樹薯及500份山藥種原。

(三) 國際運傳中心(International Transit Centre, ITC)，收集保存超過1500種可食用及野生種芭蕉屬(*Musa* spp.)種原，為全球香蕉遺傳多樣性最豐富的機構之一。ITC主要利用田間、體外保存方式進行芭蕉屬的種原保存，其中約有1100種已利用液滴玻璃質化法進行超低溫冷凍保存。

(四) 國際熱帶農業中心(International Center for Tropical Agriculture, CIAT)，迄今保存37,938份菜豆屬(*Phaseolus*)、22,694份熱帶飼料作物(豆科、牧草)及6,155份樹薯等種原，其中樹薯以田間及體外保存為主。CIAT已凍存超過480份樹薯核心種原(core collection)，主要以液滴玻璃質化法及包埋脫水法為主，而近期朝樹薯野生近緣種之凍存技術發展。

(五) 國家植物種原系統(National Plant Germplasm System, NPGS)，為美國農業部–農業研究局(United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service, USDA–ARS)所屬系統，負責美國重要農業植物遺傳多樣性之保存及利用。NPGS迄今已保存244科，2,554屬，16,163種，總計近60萬份作物種原。於超低溫基因庫方面，NPGS保存近4,000份種原包含大蒜、草莓、甘藷、馬鈴薯、薄荷、櫻桃、梨及蘋果等，凍存方法則以液滴玻璃質化法(莖頂組織)及緩慢冷凍法(果樹休眠芽)為主。

(六) 萊布尼茨植物遺傳與作物研究所(Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, IPK)，已保存776屬，2,933種，總計近15萬份種原。IPK之種原皆以乾燥種子型態保存於-18℃，而無性繁殖作物以離體保存為主。目前IPK的超低溫基因庫已保存超過2100份種原，包含1818份馬鈴薯、157份薄荷、及213份蔥屬(Allium)等

表二、國際種原保存機構應用超低溫冷凍保存之主要作物、保存數量及方法

國家	機構名稱	主要作物	保存數量(accession)[z]	方法
祕魯	國際馬鈴薯中心(CIP)	馬鈴薯	4,068	液滴玻璃質化法
		甘藷	324	液滴玻璃質化法
奈及利亞	國際熱帶農業研究所(IITA)	樹薯、山藥	(試驗中)	液滴玻璃質化法
比利時	國際運傳中心(ITC)	芭蕉屬	~1,100	液滴玻璃質化法
哥倫比亞	國際熱帶農業中心(CIAT)	樹薯	~480	液滴玻璃質化法
美國	國家植物種原系統(NPGS)	大蒜、草莓、甘藷、馬鈴薯、薄荷、櫻桃、梨及蘋果	~4,000	液滴玻璃質化法、緩慢冷凍法
德國	萊布尼茨植物遺傳與作物研究所(IPK)	馬鈴薯	1,818	液滴玻璃質化法
		薄荷	157	
		蔥屬	213	玻璃質化法
南韓	國家農業生物多樣性中心(NAC)	蔥屬、馬鈴薯、百合屬、蘋果屬、甘藷、菊屬、草莓	1,558	液滴玻璃質化法、緩慢冷凍法
日本	遺傳資源中心(NGRC)	桑樹	1,283	緩慢冷凍法
		馬鈴薯	310	
		蘭草	181	V cryo–plates法
印度	國家植物遺傳資源局(NBPGR)	桑屬、芭蕉屬、蔥屬	~10,000	液滴玻璃質化法、緩慢冷凍法

資料來源:各機構發表之研究報告、年報、數據庫及官網公告內容，筆者統整製表(製表日期:2022年2月)。

[z]保存數量為製表日期當月數據，惟即時保存數量可能因各機構研發進展而變動。

作物，主要凍存方法為液滴玻璃質化法及玻璃質化法。

(七) 國家農業生物多樣性中心(National Agrobiodiversity Center, NAC)，為韓國農村振興廳(Rural Development Administration, RDA)所屬單位。NAC目前保存農園藝、特用及飼料作物種原之種子24萬份、無性繁殖作物達26,000份。NAC的超低溫基因庫自2006年起陸續保存7種作物種原，目前已達1,558份(包含1,104份蔥屬、68份馬鈴薯、196份百合屬、48份蘋果屬、36份甘藷、86份菊屬及20份草莓)。

(八) 日本國家農業與食品研究機構(National Agriculture and Food Research Organization, NARO)所屬遺傳資源中心(NARO's Genetic Resources Center, NGRC)，迄今保存近23萬份種原，包含禾本科、豆科、根莖類、飼料、蔬菜、果樹、花卉等，主要透過種子儲藏；其中近3萬份種原為無性繁殖作物，主要利用田間及離體保存。目前NGRC的超低溫基因庫中保存1283份桑樹種原(休眠芽)、310份馬鈴薯、181份藺草(mat rush)等作物，主要利用緩慢冷凍法及V cryo–plates法。

(九) 國家植物遺傳資源局(National Bureau of Plant Genetic Resources, NBPGR)，為印度農業研究委員會(Indian Council of Agricultural Research, ICAR)所屬單位。NBPGR為全球種原保存數量最豐富的機構之一，僅次於美國NPGS。目前已收集種原涵蓋812屬，2,020種，包含禾穀類、豆科、蔬菜、果樹、纖維料、飼料、藥用及辛香料作物等，總計近40萬份種原；而目前NBPGR的超低溫基因庫中已保存近1萬份種原收集系，主要為桑屬(休眠芽)、芭蕉屬及蔥屬(液滴玻璃質化法)作物。

六、結語

種原收集與保存是農業調適技術中關鍵的一環，現行方法多以田間、離體保存為主，僅可作短(中)期保存。而超低溫冷凍技術可保存小體積材料，節省人力及空間，避免外界環境危害，並保持高度遺傳資源穩定性，為種原長期保存的理想方法。目前國際間種原保存機構皆有應用實例，且凍存種類及數量將逐年增加，積極開發不同作物的凍存技術為未來發展趨勢。就現階段之進展而言，多以溫帶作物有較多成功案例，而熱帶或亞熱帶作物因植物本質較不耐低溫，存活率普遍偏低，仍有待進一步突破。台灣因氣候及地理環境特殊，擁有豐富的熱帶及亞熱帶作物種原，可針對此項優勢加強相關作物凍存技術的研究。參閱目前國內有關超低溫冷凍保存的文獻，台灣在林木、藥用、蘭花、無性繁殖等作物上已有諸多成果，顯示台灣在此領域的研發上已奠定穩固基礎，未來如何參考各國經驗，實際建立超低溫基因庫，應用於種原保存的任務上，為台灣下一階段需努力的目標。

氣候變遷對農業生產的衝擊
—解讀IPCC最新氣候評估報告(AR6)

農試所農工組 姚銘輝

一、前言

氣候變遷(climate change)是指因為人類活動而對地球大氣環境的影響。在18世紀中葉工業革命後因為大量使用石化燃料(主要為煤及石油)，導致由深埋在地下的固態及液態碳源轉為漫佈在大氣的氣態碳源(二氧化碳)，而大面積砍伐森林開墾為都市、工廠或農田，減少對大氣氣態碳源的固定。此外，人口增加及都市化發展將直接或間接造成氣候改變的原因。

聯合國轄下的跨政府組織”政府間氣候專門委員會”(Intergovernmental Panel on Climate Change；IPCC)，集合全世界各學門的專家，針對全球未來氣候改變及各項衝擊做專業的評估，並將結論彙整成冊。每隔幾年就依據最新證據及方法學發布評估報告(Assessment Report; AR)，第一次評估報告是1992年發布，之後分別在1995、2001、2007、2013/14、2021/22發布評估報告。氣候評估報告有4冊，第一冊屬於物理科學依據(The Physical Science Basis)，第二冊是衝擊、脆弱度與調適(Impacts, Vulnerability and Adaptation)，第三冊是氣候變遷減緩(Climate Change Mitigation)，第四冊則是將前3冊綜整的報告(Synthesis Report)，這四冊是分別發布，以AR6為例，第一冊2021年8月9日發布，第二冊2022年2月28日，第三冊2022年4月4日，而第四冊將在2022年底發布。

依據IPCC最新一期評估報告(AR6)指出，至2040年全球平均溫度將較工業革命前上升1.5℃(表一)，北極冰層將因增暖而融化，海冰覆蓋面積大幅減小且厚度變薄，與1979年相比，北極海海冰體積已經減少約3/4，冰雪可反射太陽輻射而減少地表積熱，但當融化為水反而吸收輻射熱能，南北極之冰雪與海水之間的變換，將對未來地球增溫速度有顯著影響。此外，海洋吸收二氧化碳是地球系統很重要的碳匯源，但當大氣二氧化碳濃度持續攀升，海洋吸收更多二氧化碳，海水酸化將影響甲殼生物的生存，

作　　者：姚銘輝研究員
連絡電話：04-23317715

間接影響整個海洋生態系；另一效應為海平面上升，海平面以近3000年來最快的速度上升中，相較於1901~1971 年，目前海平面上升速度增加 2 倍，預估至世紀末全球海平面上升0.38~0.77公尺，此將造成低地或沖積三角洲被淹沒，影響農、漁業及生態多樣性。全球增溫除高溫熱浪侵襲增加外，大氣氣候型態也將有明顯改變，包括降雨型態朝向極端化發展趨勢，嚴重乾旱及致災型暴雨發生頻率將更為頻繁，雨季及旱季的長度消長，即旱季愈長而雨季愈短，對發展中國家將因缺乏儲水及水利設施，民生及農業用水面臨嚴重短缺，而暴雨則造成土地流失及生命財產的損失。

二、台灣未來氣候變化趨勢

IPCC所發布評估報告相當龐大及複雜，以AR6第一冊物理科學報告即高達4000頁，對一般民眾難以瞭解其內容，我國科技部長期支持”台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫”(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform; TCCIP)，此計畫參與者包括大氣、水資源、坡地、淹水、農業及公衛等專家，進行未來氣候資料產製及調適策略的研擬，同時針對IPCC報告進行轉譯，讓外界可以容易瞭解整體氣候變遷最新趨勢，更重要是透過研究闡述台灣未來將面臨的氣候衝擊。TCCIP團隊針對AR6的資料分析，有關台灣未來氣候情境的推估如下：

(一) 台灣各地氣溫未來推估將持續上升，21世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過1.8 ℃及3.4 ℃。

(二) 台灣各地高溫36℃以上日數增加，21世紀中及末分別增加幅度8.5日及48.1日，其中，都市地區增加較其他地區顯著。

(三) 未來推估台灣的夏季長度從目前約130天增長為155-210天，冬季長度從目前約70天減少為0-50天。最劣情境下，2060年台灣就沒有冬天。

(四) 台灣年總降雨量未來有增加的趨勢，21世紀中及末總降雨量分別增加幅度為15%及31%。

(五) 年最大連續不降雨日數也有增加趨勢。21世紀中及末分別增加幅度約為5.5%及12.4%。

表一、IPCC AR6針對不同氣候情境及時期之全球氣溫估計值

情境	短期，2021-2040(年)		中期，2041-2060(年)		長期，2081-2100(年)	
	最佳估計(℃)	非常可能升溫範圍	最佳估計(℃)	非常可能升溫範圍	最佳估計(℃)	非常可能升溫範圍
SSP1-1.9	1.5	1.2至1.7	1.6	1.2至2.0	1.4	1.0至1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2至1.8	1.7	1.3至2.2	1.8	1.3至2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2至1.8	2.0	1.6至2.5	2.7	2.1至3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2至1.8	2.1	1.7至2.6	3.6	2.8至4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3至1.9	2.4	1.9至3.0	4.4	3.3至5.7

(六) 21世紀中及末影響台灣颱風個數將減少約15及55%，強颱比例將增加約100%及50%，颱風降雨改變率將增加約20%及35%。

上述是以全球無法有效控制二氧化碳的排放下，最劣氣候情境下的分析(SSP5-8.5)(圖一)下的結果，但如果能有效減碳是可減緩氣候環境的惡化。

未來氣候資料是各項衝擊評估及調適策略研擬的依據，IPCC在公布新版的評估報告同時也會提供未來氣候資料，由於大氣動態是非常複雜的議題，通常會有幾十種大氣環流模式(General Circulation Models；GCMs)同時產製未來氣候資料，同時，因以全球為尺度，每一資料網格大小為250到600公里之間，整體大氣垂直結構分為10至20層，這樣的空間解析度無法直接用於台灣，因此，TCCIP團隊的另一工作為將IPCC未來氣候資料降尺度(down scaling)化，產製台灣適用的氣候資料庫，資料屬性為每日日高溫、日低溫、雨量及為農業領域產製之日射量，資料長度至本世紀末(2100年)，空間解析度為5Ｘ5公里，此份資料可在網站下載使用(https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/)。

三、氣候變遷對農業生產之衝擊

農業生產受天候影響極大，台灣近年因氣候變遷導致極端天氣事件發生更形頻繁。2016年年初強烈低溫及後續多次強颱侵襲，造成當年農損高達350億元；2018-2019年發生暖冬，開花生理需

SSP1-全世界將氣候變遷視為重大議題，攜手共進全力減少氣候變遷之影響。
SSP2-未來全球發展持續依循現行發展路徑進行。
SSP3-區域或民族意識高漲，各國以提高自身國家競爭力為發展目標，無視跨區域性之環境影響進行經濟發展。
SSP4-已開發國家與低開發、開發中國家之差距日益明顯，導致各國對氣候變遷重視程度不一。
SSP5-全球市場趨於整合，且因成功解決許多環境議題使各界相信即使全力發展化石燃料，仍可邁向永續發展。

圖一、IPCC 第六次評估報告(AR6)中，提供另一種未來氣候變遷情境「共享社會經濟路徑」(Shared Socioeconomic Pathways,簡稱SSPs)。

低溫刺激的果樹大幅減產；2020年7月旱情逐漸顯現，至2021年上半年嚴重乾旱造成農業供水不足，水稻一期作休耕，坡地種植作物包括茶樹及果樹因缺水而減產；但下半年(尤其是8月)則遭遇嚴重澇害，高屏部分地區一周累積雨量高達2000公厘以上，蔬菜生產區浸水造成菜價飆漲。雖然目前無法將短期的災害發生和長期的氣候變遷作連結，但不論是氣候變異(climate variability)或氣候變遷(climate change)皆可說明，未來農業生產將面臨更大的衝擊及威脅。

農業生產受天氣環境影響甚鉅，包括高溫、低溫、旱澇或颱風等，災害發生的不確定性及強弱直接影響農民收益及農產品產銷平衡，由於近年來極端天氣的頻繁出現，農業如何短期應變及長期調適是應同時規劃及推動的課題。聯合國農糧組織(FAO)一直倡導氣候智慧型農業(Climate Smart Agriculture；CSA)，主要目的是讓農民耕作與氣候變遷之間能夠平衡共存，在農作物種植過程減少溫室氣體排放以減緩氣候惡化，另一方面，善用氣候資訊規劃農作物種植種類及種植時機，讓糧食系統永續穩定的運作。因此，農耕制度或操作方式需了解即時天氣變化及長期氣候趨勢，雖然目前氣象預報時間長度仍限定在2周內較具可信度，但整體氣候長期趨勢已相當明顯，作物種植應朝向低風險及可調適的方向規劃。例如針對暖冬情境除改種熱帶果樹外，也可選育對低溫需求較低的溫帶果樹或品系種植，同時適栽區的選擇也是調適選項之一；暴雨常對葉菜類蔬菜造成損害，溫室設施推廣即是有效的防範方式；針對乾旱之水資源調配，水稻旱田直播是一種因應未來缺水常態化的調適選擇。在未來不同氣候情境下，可透過科技研發及政策工具引導農民進行各項因應作為，以減緩氣候變遷對農業生產的衝擊。

台灣農業生產與糧食需求上仍有落差，尤其糧食自給率維持在30-35%之間，黃小玉等大宗糧食作物仍仰賴大量進口，面對未來氣候變遷的挑戰，當糧食出口國發生災害或戰爭，限制糧食出口時，國內需求即面臨短缺。替代糧食來源或國內作物種植皆有待規劃，而國內生產雖較能確保供應穩定，但同樣面臨氣候的衝擊。台灣地狹人稠的情形，所需糧食皆由國內自行生產是不切實際的想法，例如每年進口450-500萬公噸玉米，台灣所有耕地皆種植玉米也無法達到進口量。但進口玉米9成以上皆為飼料用，肉類食品雖提供必要蛋白質及脂肪，但過多攝取反而造成身體的負擔，尤其脂肪攝取過多與心血管疾病有密切關係，若國人飲食習慣比照日本人少脂肪及多碳水化合物的攝取樣態，經計算每年即可減少140萬公噸玉米的進口。飲食中減少脂肪攝取量是國內醫生所建議，尤其是高熱量及動物肉品的食用。如果將糧食安全和國民健康一起論述，從消費端減少需求，既能維護國人健康又降低糧食安全風險，政策推動上是可以取得雙贏。

農委會推動「建構因應氣候變遷之韌性農業體系研究」政策型計畫，強調農林漁牧產業在氣候變遷威脅下如何建構韌性農業體系，著重長期調適作為及生產區規劃，及在不同災害類型及發生時間下，進行農業脆弱度分析及恢復力建構。然而，台灣氣候多變及地形複雜，農業本身作物種類繁多且耕作面積小，整體耕作規劃及調適策略研擬須兼顧消費需求面及農民權益。過去執行科研計畫對於災害分析及氣候變遷調適皆有成果，但因基準或調查分析方式不同，成果間難以彙整，由於相關計畫仍在執行中，建議可利用TCCIP所提供氣候資料及氣候情境為基準，作為各項研究項目的分析基準，方便未來橫向或縱向的整合。另建議以糧食安全或脆弱度分析作為計畫最終目標，以糧食需求面作為生產規劃的依據，因應未來台灣人口將明顯減少，優先種植國外進口具風險性之糧食作物。此外，由現況觀察高經濟作物的種植區域已有向北及向高山種植的趨勢，依此發展趨勢將與既有作物及林地競爭，應以較大面向及較長時間尺度去思考氣候變遷調適及具體作為，確保未來農耕的永續及糧食供應穩定。另外，建議彙編整體因應氣候變遷之調適報告，依據未來不同氣候情境，分析各項衝擊及相對應之調適作為，整合農、漁、畜、林等產業，及考量農業生態、病蟲害及生物多樣性的衝擊，需要全面性的綜合評估，否則僅由單一產業調適容易偏頗，所研擬之調適策略也容易與其他產業衝突而窒礙難行。雖然整份調適報告涵蓋面極廣，不易在計畫期程內完成，但僅需規劃架構及內容後，逐年分階段性完成分析及撰寫，最終仍能完成我國的因應氣候變遷之農業調適報告。

四、結論

雖然未來氣候的變化趨勢基本已確定，但隨著人類對於減碳的共識及執行力，將左右未來氣候環境是朝向”悲觀”或”樂觀”的方向發展，而所相對應的農業調適策略也不盡相同，但不論如何，對於氣候衝擊需有全面性的因應規劃及確實可行的策略。農業部門在面對氣候變遷，在短期應著重災害防範及應變作為以減少農損，長期則強調氣候變遷調適及建構韌性栽培體系。面對多變天候及持續惡化的農業栽培環境，災害防範強調”避災”及”減災”，除建立早期預警及迅捷的災害通報系統外，作物栽培制度也應朝向氣候智慧型農業，擴增農業氣象資源服務(如增設氣象站及預報服務)，提供農民實際運用於耕作中，並在作物種植區或季節時朝向災害風險低的情境規劃。而因應氣候變遷則建議撰寫農業調適報告，由未來糧食供給面及農民收益為前提，依據不同氣候情境研擬衝擊評估及調適策略，除生產面技術研發外，政策工具的規劃及推動也同樣重要，期盼透過科技研發及落實政策推動等作為，減緩極端天氣所帶來的衝擊，以達成照顧農民生計及穩定農產品供應目標。

利用PlantGSAD資料庫平台 對農業基因體資料基因群富集分析之簡介

農試所作物組 賴牧謙 吳東鴻 李長沛

一、前言

作物遺傳學的進展，隨著基因定序技術的不斷突破，產生了與生物表現量有關的大量的體學資訊，如轉錄體學、蛋白質體學、微生物體學與代謝體學等重要性狀之遺傳調控數據。在轉錄體學方面，RNA定序 (RNA sequencing, RNA-seq) 分析為了解基因表現量的重要方式之一，透過次世代定序 (next generation sequencing, NGS) 技術的突破大量解序並量化生物體內所有基因或轉錄體的表現狀況，相較於過去的微陣列分析 (microarray) 具有較高的精確度與覆蓋度，其流程包含RNA萃取、互補DNA文庫 (cDNA library) 備製、上機定序與生物資訊分析。在成千上萬的RNA-seq資料中，研究者會根據基因的表現為上調或下調、P值顯著與否設定篩選的門檻，一般而言篩選的門檻為挑選P值小於0.05或倍數變化 (fold change) 大於2的DEGs，側重關注顯著上調或下調的差異性表現基因 (differential expression genes, DEGs)。然而，在生物體中，不同部位與組織對差異性表現量的敏感度不同，這樣的作法容易忽略差異性表現量不顯著，但卻具有重要生物功能的基因。例如轉錄因子，表現量少但一經開啟便可引發一連串下游基因的表達。

由於參與某些功能的基因，經常是一個接著一個序列啟動，因此參與該功能表達的類型或路徑就形成所謂的基因群 (gene-set)，從這些已知和某種功能有關的基因群中找出在試驗中存在差異表現的分析方法，就稱為基因群富集分析 (gene-set enrichment analysis, GSEA)。GSEA不需要特別指定差異性表現的閾值，而是利用統計檢定分析表現量資料的整體趨勢，銜接表現量數據與生物學意義，為分析基因表現量資料開闢出一條新的道路。本篇將介紹論基因富集分析的原理，並以水稻核糖核酸

通訊作者：李長沛副研究員
連絡電話：04-23317177

測序 (RNA sequencing, RNA-seq) 資料為例，利用PlantGSAD線上基因組功能註釋資料庫進行GSEA示範操作，導入視覺化圖表深度剖析複雜且龐大的表現量資料，有助於深化農業科研人員之研究成果。

二、基因群富集分析原理

基因群富集分析的定義，是根據已經建構好的基因組功能註釋資料庫對目標基因群進行功能性分類。當中，最常使用的基因組功能註釋資料庫為基因本體論 (gene ontology, GO) 以及京都基因與基因組百科全書 (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes, KEGG)。GO 將註釋分為分子生物學功能、生物學過程與細胞學成分。透過此三大分類，對目標基因群的功能進行多層面的描述。KEGG則是一個整合基因組、化學、生理與系統生物學之綜合資料庫，詳細記錄各個基因與蛋白質所參與生物調控途徑。

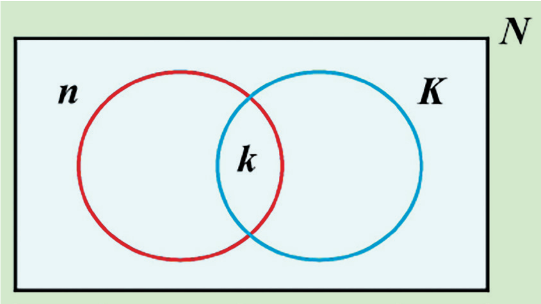
此外，除了挑選基因組功能註釋資料庫，還必須對目標基因群進行基因群富集檢定 (gene-set enrichment tests)，確認基因組功能註釋資料庫中預先定義之特定功能基因群，是否由目標基因群中的DEGs所富集。常見的檢定方法有超幾何檢定、費雪精確性檢定 (Fisher's exact test) 和卡方檢定。最常使用的費雪精確性檢定公式如下：

$$P(X=k)=\frac{\binom{n}{k}\binom{N-n}{K-k}}{\binom{N}{K}}$$

其中，N為基因組功能註釋資料庫總基因個數；n為目標基因群的基因數目；K為特定功能基因群之基因數目；k為目標基因群與特定功能基因群重疊之基因數目。不同基因群之間的關係以文氏圖進行詳細說明，如圖一所示。最後，會利用false discovery rate (FDR) 對費雪精確性檢定所得到的P值進行校正。

三、PlantGSAD資料庫背景介紹

PlantGSAD (http://systemsbiology.cau.edu.cn/PlantGSEAv2/) 為 Ma 等人於2021年所架設之線上基因組功能註釋資料庫，前身為2013所架設的PlantGSEA (http://systemsbiology.cau.edu.cn/PlantGSEA/)。PlantGSAD 採用LAMP系統 (Linux + Apache + MySQL + PHP/Python) 建立線上資料庫，以Linux為底層作業系統，Apache架構網站伺服器，MySQL負責儲存與管理大量生物學資料， PHP/Python負責使用者互動介面與資料存取。由於其免費與開放原始碼之



圖一、基因群富集檢定各基因群間關係文氏圖。其中，N為基因組功能註釋資料庫總基因之集合；n為目標基因群之集合；K為特定功能基因群之集合；k為目標基因群n與特定功能基因群K之交集 (intersection)。

特性，近年來開始將這四個軟體組合在一起架構線上資料庫平台。

PlantGSAD 為近期新發表之高等植物整合型基因富集分析資料庫，其主要特色為彙整過去所有高等植物相關的基因組功能註釋資料庫，蒐集了涵蓋 44 個物種共 236,007 個功能基因集，並依據資料庫的屬性區分成9大類，如表一所示。其中，G1與G2主要為體學資料，如AgriGO(v2)、Phytozome(v13)。G3 主要收錄路徑調控分析資料庫，包含 KEGG、MapMan (https://mapman.gabipd.org/imprint) 和 PlantCyc (https://plantcyc.org/)。G4 收錄數個基因家族的資料庫，例如 CAZy database，為醣類分子相關酵素資料庫。G5 則是收錄染色質狀態相關資料，主要資料來源為 PCSD database。前人研究顯示，細胞內的DNA序列會和組蛋白結合，進而構成不同的染色質狀態 (chromatin states)，主要區分成緊密與疏鬆兩種，不同的染色質狀態會影響後續的基因表達。因此，PlantGSAD 將其納入資料庫中並進行整合。G6 方面，收錄了轉錄因子與微核醣核酸相關之資料庫，諸如Plant Cistrome Database與 Plant ncRNA database (http://structuralbiology.cau.edu.cn/PNRD)。G7 收錄基因共表現網絡分析資料所建構之資料庫，如 ATTED-II。G8 與 G9 則分別收錄了來自458篇期刊與液-液相分離之相關基因集與資料庫。液-液相分離 (liquid-liquid phase separation) 為2010年後興起的新學門，主要在探討細胞內不具有細胞膜的胞器 (例如核仁) 如何在細胞質內與其他物質區隔，獨立進行生化反應。PlantGSAD 亦將調控液-液相分離的基因資料庫納入，如DrLLPS。

四、PlantGSAD資料庫操作簡介

當使用者手上有一筆植物DEGs資料，便可以利用PlantGSAD對其進行基因富集分析。首先，在單一基因或基因集搜尋的部分，PlantGSAD提供使用者查特定基因在9大類基因註釋資料庫中的功能註解，亦可查詢指定功能基因集 (圖二A、B、C)。在基因富集分析方面，選定物種、輸入目標 DEGs 後，可以選擇欲進行分析的富集類別，PlantGSAD 允許使用者同時勾選9大類別的富集分析資料庫，以方便使用者比較不同類別間對同一目標差異表現基因集功能上的差異，此項功能是PlantGSAD的一大特色 (圖二D)。最後，PlantGSAD提供視覺化的圖表，包含有向無環樹狀圖 (direct acyclic graphical tree, DAG tree) 與基因-註解重疊矩陣 (圖二E)。DAG tree不同與網絡圖，各節點間具有方向性，但不會形成環狀之構造，適合用來描述註解與註解之間的上下游關係。基因-註解重疊矩陣則是能清楚呈現特定基因是否具有該註解之功能。

本文章以Wu等人於2016年所發表，蒐集抽穗後不同天數之高度休眠性水稻品系N22與輕度休眠性水稻品系Q4359、Q4646之種子進行RNA-seq分析，並利用活性氧化物 (ROS) 處理後

所篩選出的85個P值小於0.05的DEGs，其資料型態包含基因名稱、倍數變化(log2)、表現量上調 (up) 或下調 (down)及P值，以這85個DEGs進行PlantGSAD基因富集分析之示範操作，探討這85個DEGs與水稻種子休眠性之間的關聯性。第一步，進入ANALYSIS頁面後，勾選欲進行分析的富集資料庫類別 (G1-G9)，選擇物種、匯入候選基因集後便可進行分析。以本次匯入的水稻基因為例，PlantGSAD能接受的基因名稱為LOC_Os01g01010，若基因名稱版本為Os01g0100100，可以利用rap-db水稻資料庫中的ID Converter (https://rapdb.dna.affrc.go.jp/tools/converter) 進行共用編號的轉換。結果方面，本文章以G3為範

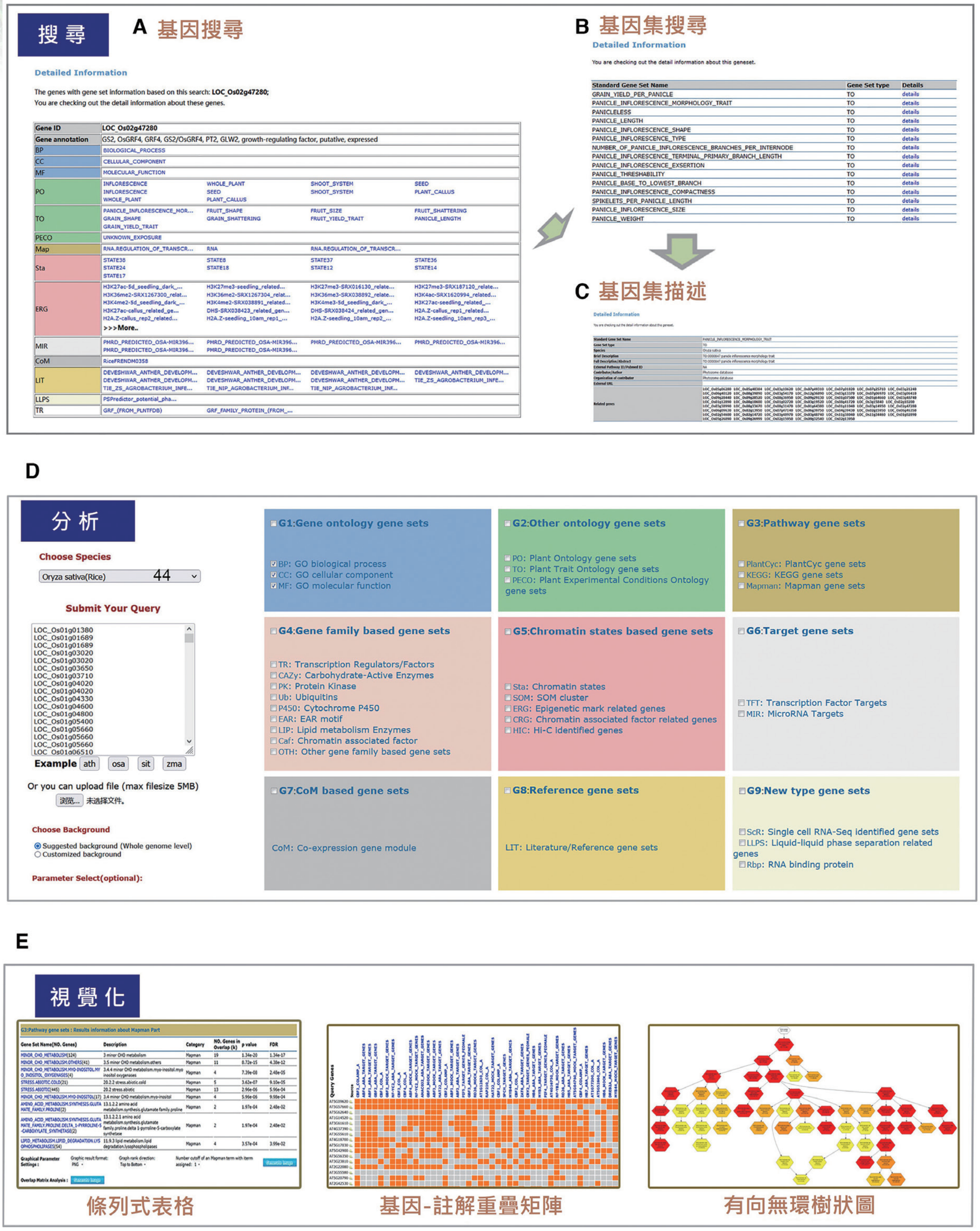
表一、PlantGSAD中9大類別 (G1-G9) 與其包含之物種、基因、功能基因集與主要資料庫來源。引用與修改自Ma *et al.* (2021)

類別	基因集描述	包含物種	包含基因集	包含基因	主要資料庫
G1	基因本體論	44	105,339	878,035	AgriGOv2/Phytozome
G2	其他本體論	4	9,444	65,958	Planteome
G3	路徑調控	39	90,526	1,174,307	KEGG
G4	基因家族	41	8,137	142,393	CAZy database
G5	染色質狀態	5	495	427,194	PCSD database
G6	轉錄因子與微核醣核酸	9	5,454	90,424	Plant Cistrome Database
G7	基因共表現網絡分析	10	14,220	82,020	ATTED-II
G8	期刊文獻	16	1,950	110,503	458 literatures
G9	液-液相分離	31	442	229,904	DrLLPS

表二、利用85個DEGs進行GSEA結果。由左至右詳細列出了85個DEGs參與了KEGG中的哪個功能基因集、該功能基因集共有幾個基因、功能基因集之描述、輸入DEGs與該功能基因集有多少重疊、P值與FDR。

G3:Pathway gene sets : Results information about KEGG Part

Gene Set Name(NO. Genes)	Description	Category	NO. Genes in Overlap (k)	p value	FDR
KEGG_GLUTATHIONE_METABOLISM(55)	ko00480 Glutathione metabolism	KEGG	6	3.56e-10	3.92e-08
KEGG_ARACHIDONIC_ACID_METABOLISM(12)	ko00590 Arachidonic acid metabolism	KEGG	4	6.80e-09	3.74e-07
KEGG_PEROXISOME(76)	ko04146 Peroxisome	KEGG	5	1.20e-07	4.42e-06
KEGG_TRYPTOPHAN_METABOLISM(17)	ko00380 Tryptophan metabolism	KEGG	3	3.10e-06	8.52e-05
KEGG_PHENYLALANINE_METABOLISM(75)	ko00360 Phenylalanine metabolism	KEGG	4	5.25e-06	1.15e-04
KEGG_PHENYLPROPANOID_BIOSYNTHESIS(86)	ko00940 Phenylpropanoid biosynthesis	KEGG	4	8.82e-06	1.62e-04
KEGG_ASCORBATE_AND_ALDARATE_METABOLISM(36)	ko00053 Ascorbate and aldarate metabolism	KEGG	3	2.44e-05	3.83e-04
KEGG_CITRATE_CYCLE_(TCA_CYCLE)(49)	ko00020 Citrate cycle (TCA cycle)	KEGG	3	5.81e-05	7.99e-04
KEGG_GLYOXYLATE_AND_DICARBOXYLATE_METABOLISM(53)	ko00630 Glyoxylate and dicarboxylate metabolism	KEGG	3	7.26e-05	8.87e-04
KEGG_PROTEIN_PROCESSING_IN_ENDOPLASMIC_RETICULUM(193)	ko04141 Protein processing in endoplasmic reticulum	KEGG	4	1.87e-04	2.06e-03
KEGG_VALINE_LEUCINE_AND_ISOLEUCINE_DEGRADATION(38)	ko00280 Valine, leucine and isoleucine degradation	KEGG	2	1.50e-03	1.50e-02
KEGG_BASE_EXCISION_REPAIR(42)	ko03410 Base excision repair	KEGG	2	1.82e-03	1.66e-02



圖二、PlantGSAD操作介面簡介。(A) 輸入基因進行搜尋 (B) 輸入基因集進行搜尋 (C) 功能基因集詳細資訊 (D) 輸入目標差異表現基因進行富集分析 (E) 視覺化圖表。引用自與修改自Ma et al. (2021)

例進行介紹。第一項結果如表二所示，85個DEGs顯著參與的調控路徑共有12個，P值由小到大排列前3名分別為榖胱甘肽代謝途徑 (glutathione metabolism)、花生油酸代謝途徑 (arachidonic acid metabolism) 和過氧化體 (peroxisome)。在種子發芽的過程中，會將脂肪分解以提供為呼吸作用的原料，這一連串的代謝途徑中會產生乙醛酸體，脂肪酸進入乙醛酸體進行ß-氧化作用與乙醛酸循環兩個主要生化途徑後，形成四碳酸進入細胞質中進行葡萄糖新生成。然而，當發芽的種子照射到陽光後，子葉逐漸轉變成綠色，此時乙醛酸體會逐漸轉換為過氧化體 (peroxisome)。85個DEGs中有5個基因參與過氧化體的形成 (P-value = 4.2×10-6)，4個基因參與花生油酸代謝途徑 (P-value = 3.74×10-7)，同時出現這兩項代謝途徑足以證明這85個DEGs與種子萌芽與休眠性有一定程度上的關聯。

五、結語

在基因表現量分析中，不論是微陣列或RNA-seq技術，都需要基因富集分析的輔助，對差異表現量基因進行功能性的分群。況且，隨著資訊設備軟硬體的提升，可提供基因富集分析的線上平台選擇與日俱增，挑選適合農業研究人員的基因富集分析平台更顯重要。PlantGSAD 平台為2021年架設之線上基因組功能註釋資料庫，整合過去其他資料庫之高等植物功能性基因注釋資料，並提供圖形化的操作介面與可輸出的視覺化圖表，不失為農業研究人員深化研究成果的一項新選擇。

六、參考文獻

Ma, X. L., H. Y. Yan, J. T. Yang, Y. Liu, Z. Q. Li, M. H. Sheng, Y. X. Cao, X. Y. Yu,

X. Yi, W. Y. Xu, Z. Su. 2021. PlantGSAD: a comprehensive gene set annotation database for plant species. Nucleic Acids Res. gkab794.

Wu, T., C. Y. Yang, B. X. Ding, Z. M. Feng, Q. Wang, J. He, J. H. Tong, L. T. Xiao, L. Jiang, J. M. Wan. 2016. Microarray-based gene expression analysis of strong seed dormancy in rice cv. N22 and less dormant mutant derivatives. Plant Physiol. Biochem. 99:27–38.

Yi, X., Z. Du, Z. Su. PlantGSEA: a gene set enrichment analysis toolkit for plant

community. 2013. Nucleic Acids Res. 41:W1, 98–103.

國產芻料新生力軍-
青割玉米專用品種「台農8號」報到!

本所111年6月6日新聞稿

農試所作物組 謝光照 王毓華

行政院農委會農業試驗所歷經10年育成青割玉米專用新品種「台農8號」，該品種具有抗銹病、中熟性、抗倒伏及高產等特性，且於糊熟期採收全株乾物質生產量及乾物率高，加上餵食動物營養消化率高，適合作為乳牛芻料，可解決冬季芻料短缺問題，並有利替代部分進口飼料，提供雲嘉南地區酪農戶於秋冬季種植青割玉米的新選擇。

圖一、青割玉米「台農8號」糊熟期植株保綠期長。

青割玉米「台農8號」早採收、產量高，營養價值一級棒!

農試所指出，青割玉米素有芻料之王之稱，飼料嗜口性佳且營養價值高，可全株直接切碎當飼料，或是發酵作成方便儲存的青貯料。由於台灣冬季低溫期間牧草生長量偏少，因此青割玉米便成為雲嘉南地區酪農戶芻料的首選。根據統計資料顯示，台灣青割玉米每年栽培面積4,000至5,000公頃，品種大多以採收籽粒的硬質玉米兼作為青割用，每公頃鮮草產量約30至40公噸，產量偏低。目前國內尚未有商業化生產的青割玉米專用品種，為加強提供國產芻料的原物料來源，該所以高產、高利用率、抗倒伏及抗病為育種目標，歷經10年育成青割玉米新品種「台農8號」，本品種具有早採收、產量高及營養價值高的優點(圖一、二、三)，已通過農委會智慧財產審議委員會審議，將授權業者採種量產，逐步建立國產芻料之商業化產業鏈。

農試所說明，青割玉米新品種「台農8號」適合在雲嘉南地區秋季裡作栽培，由播種至開花吐絲期約58至60天，若是10月播種，至採收期約75天左右，若是11月上旬播種至採收期約85天，比

常用品種提早1個月採收。於糊熟期整株採收，其鮮重產量每公頃約達50公噸，全株乾物率34%，總營養消化率為66.5%，利用率高。植株葉片保綠期長，在田間自然環境下無銹病病徵發生，適合密植及機械採收，是值得推薦的芻料用品種。

農業試驗所育成品種助攻國產飼料供應鏈

農試所表示，近年來受到COVID-19疫情影響，造成國際航運不穩定，加上氣候變遷及烏俄戰爭等因素，國際原物料價格波動，使得國內飼料供應受到嚴峻的挑戰，因此建立國產供應鏈，將可彌補部分芻料缺口，減緩飼料不足的衝擊。由於台灣秋冬季的低溫期不利於熱帶牧草的生長，但卻適合青割玉米栽培，若能種植合適的品種將可提早自秋季規劃增產芻料，提供水稻轉作的新品項。

農試所自1970年代即投入硬質玉米的研究，長期進行種原收集，開發硬質玉米種原的應用性，並利用育種技術，歷年來已育成「台農351」、「台農1號」、「台農7號」等品種，其中籽粒用的硬質玉米「台農1號」目前仍受到酪農的喜愛。隨著青割玉米專用品種「台農8號」的誕生，將提供芻料缺口的新解方，該所將於近期辦理非專屬技術授權。

圖二、青割玉米「台農8號」糊熟期植株穗位以上葉片呈直立，可密植。

圖三、青割玉米「台農8號」糊熟期之果穗外觀。

作　　者：謝光照研究員
連絡電話：04-23317115

農業試驗所

最新品種與技術授權資訊

咖啡台農1號品種權

- 已授權陽昇園藝有限公司生產、銷售。
- 洽詢電話： 049-2904191
- 地址：南投縣埔里鎮南環路223號

三種特徵風味苦茶油製程技術

- 已授權金椿茶油工坊有限公司生產、銷售。
- 洽詢電話： 037-831195
- 地址：苗栗縣三灣鄉永和村3鄰石馬店18之3號

抗青枯病雜交茄子根砧品系

- 已授權勇壯育苗場生產、製造。
- 洽詢電話：0975-893948
- 地址：嘉義縣六腳鄉双涵村50-50號

技術服務季刊
學術典藏

9 771017 086004

GPN：2007900008
定價：NT$50